

ESTUDIO DEL EFECTO DE ESCALAMIENTO EN MATERIALES COMPUESTOS MULTILAMINADOS TERMOPLÁSTICOS

J.L. Mena Tun, P.I. González Chi*

*Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C.
Unidad de Materiales
Calle 43 No. 130 Col. Chuburná de Hidalgo C.P. 97200
. Mérida, Yucatán, México.
email ivan@cicy.mx

Abstract – Una alternativa para simplificar el proceso de diseño de materiales compuestos es la evaluación de modelos a escala para predecir el comportamiento del prototipo a partir de experimentos realizados al modelo. El efecto del escalamiento dimensional en las propiedades mecánicas a tensión de materiales compuestos multilaminados fue estudiado para un sistema termoplástico PP/Twaron®. El escalamiento de los materiales fue realizado en una dimensión (espesor) y en dos dimensiones (plano). Ambos modos de escalamiento fueron analizados independientemente tanto cualitativa como cuantitativamente. Para el escalamiento en el espesor, el efecto en los materiales compuestos fue poco significativo, mientras que el escalamiento en el plano mostró un efecto tanto en la forma de la curva esfuerzo-deformación como en el valor de deformación máxima de los multilaminados. El entendimiento de este comportamiento, es necesario para establecer una relación entre el desempeño de los modelos de laboratorio y el desempeño de una pieza real para el uso de estos materiales en aplicaciones estructurales.

Introducción.

Uno de los problemas en el diseño de materiales compuestos laminados es su complejo comportamiento de falla. Los modelos teóricos son difíciles de formular y propensos a errores debido a la naturaleza anisotrópica y no homogénea de estos materiales. Como resultado, el proceso de diseño incluye pruebas destructivas de prototipos, lo que es tardado y costoso.

Una alternativa para simplificar el proceso de diseño es la evaluación de modelos a escala para predecir el comportamiento del prototipo a partir de experimentos realizados al modelo; sin embargo, los materiales compuestos presentan variaciones en sus propiedades mecánicas cuando las muestras que son probadas son de tamaños diferentes y esto es lo que se conoce como “efecto de escalamiento” ya que el escalamiento del sistema afecta su comportamiento mecánico. Por lo tanto, para aplicar esta técnica de diseño es necesario que los efectos de escalamiento del material sean conocidos y analizados a fin de establecer una relación única entre el comportamiento del modelo y el comportamiento del prototipo.

En el presente proyecto, materiales compuestos multilaminados termoplásticos fueron escalados dimensionalmente en tres niveles en el espesor y en el plano. Los resultados de las pruebas mecánicas a tensión de estos materiales revelaron como influye cada modo de escalamiento en sus propiedades.

Sección experimental.

Materiales.

Los materiales utilizados fueron una matriz termoplástica de polipropileno de la marca INDELPRO y fibras continuas de aramida Twaron 2200® de la marca Akzo Nobel.

Plan de escalamiento.

La tabla 1 presenta el programa a seguir para el escalamiento de los multilaminados. La celda base con dimensiones de 120 mm de largo x 25 mm de ancho y 1.3 mm de espesor consistió de 8 capas dispuestas en la orientación [+45, -45, 0, +45, -45, 0, +45, -45]. Esta celda base fue escalada en su espesor a 16 y 24 capas por el método de apilamiento distribuido manteniendo el largo y el ancho constantes. Este modo de escalamiento es conocido como escalamiento en el espesor y esta indicado con la flecha hacia abajo en la tabla. La flecha horizontal indica un segundo modo de escalamiento conocido como escalamiento en el plano, en el que la celda base es escalada en sus dimensiones al largo y ancho, manteniendo el espesor constante.

Tabla 1. Programa de escalamiento de los materiales compuestos multilaminados.			
	PLANO		
ESPESOR	1x = 120 X 25 mm	2x = 240 X 50 mm	3x = 360 X 75 mm
8 capas 1.3 mm	Celda base OK	OK	→ OK
16 capas 2.6 mm	OK		
24 capas 3.9 mm	↓ OK		

Preparación de los multilaminados escalados en su espesor.

Las fibras fueron preimpregnadas con la matriz termoplástica por el método de polvos para obtener preformas, las cuales fueron cortadas con una tijera cerámica y colocadas en un molde para formar las capas que componen los multilaminados, cada capa tiene una densidad lineal de 35 preformas por cada 250 mm de longitud del molde. La consolidación de los multilaminados fue realizada por compresión, aplicando presión y calor durante 35 minutos a una temperatura de 230°C. El diseño del molde permite obtener placas de material compuesto de 250 mm de largo por 250 mm de ancho y espesor variable con “tabs” integrados. Las placas de material compuesto fueron cortadas a las dimensiones requeridas según la norma ASTM D 3039/D3039-00 para obtener probetas con la geometría mostrada en la figura 1 y las medidas a = 120 mm, b = 25 mm.

Preparación de los multilaminados escalados en el plano.

Empleando la metodología de consolidación descrita y un segundo molde más grande, se obtuvieron placas de material compuesto de 370 mm de largo por 250 mm de ancho, de las cuales se cortaron las probetas escaladas 2x, con la misma geometría mostrada en la figura 1 y las dimensiones a = 240 mm, b = 50 mm. Un tercer molde permitió obtener placas de material compuesto de 490 mm de largo por 225 mm de ancho de las cuales se obtuvieron las probetas escaladas 3x, de dimensiones a = 360 mm, b = 75 mm.

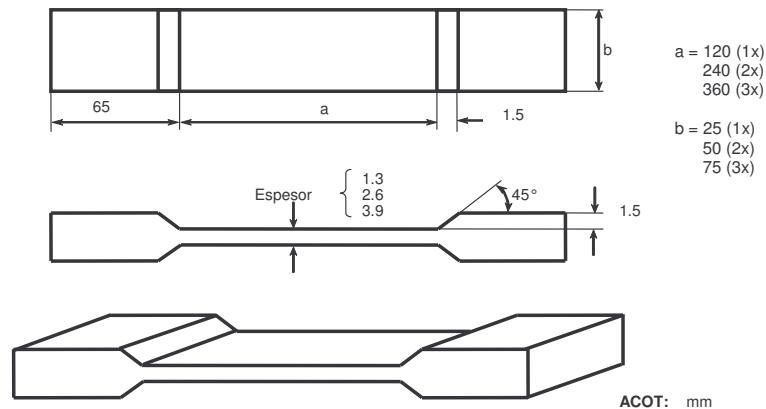


Figura 1. Geometría y dimensiones de las probetas para la prueba de tensión.

Pruebas mecánicas.

Todas las probetas fueron ensayadas a tensión según la norma ASTM D 3039/D3039-00 en una máquina de pruebas mecánicas modelo Shimatzu AG1 con una velocidad de deformación constante de $8.33 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$. Un extensómetro fue adaptado a las probetas durante las pruebas para recolectar datos carga-deformación y calcular el módulo elástico en forma más precisa.

Resultados y discusión.

Escalamiento en el espesor.

La figura 2 muestra las curvas típicas de los materiales compuestos preparados. En todos los casos las curvas presentan dos inflexiones, una a aproximadamente un 0.85 % de deformación y una a aproximadamente 1.3 % de deformación, las cuales son probablemente debidas a cedencia de la interfase fibra/matriz de los materiales compuestos.

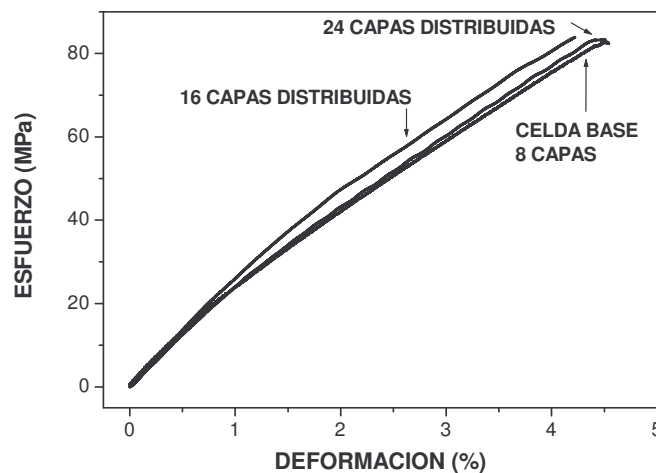


Figura 2. Curvas típicas esfuerzo-deformación de los materiales escalados en su espesor.

La figura 3 muestra el comportamiento de las propiedades mecánicas de los materiales. El esfuerzo máximo muestra una ligera tendencia a aumentar respecto a la celda base conforme aumenta el número de capas de los multilaminados; sin embargo, al observar las desviaciones estándar nos damos cuenta de que este aumento es sólo aparente. Aunque la deformación máxima y el módulo de los laminados de 16 capas muestran una diferencia respecto a la celda base, esta diferencia desaparece en los laminados de 24 capas que muestran valores de módulo y deformación similares a los de la celda base, por lo que se concluye que no existen efectos de escalamiento significativos en las propiedades de los multilaminados escalados en la dirección del espesor.

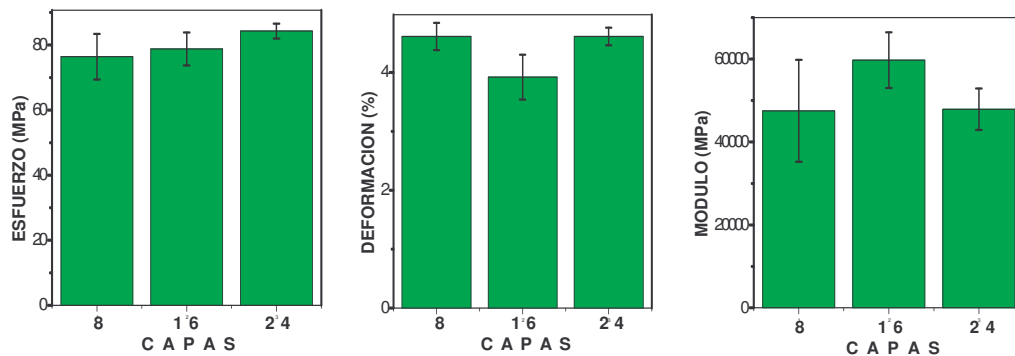


Figura 3. Comportamiento de las propiedades mecánicas de los materiales compuestos escalados en el espesor.

Escalamiento en el plano.

La figura 4 muestra las curvas típicas de la celda base y el primer escalamiento en el plano. La curva de este material no muestra una zona de transición definida como ocurrió en el caso de los materiales escalados en su espesor y esto produjo que su pendiente sea mayor que la de la celda base. La deformación máxima también fue afectada por el escalamiento en el plano.

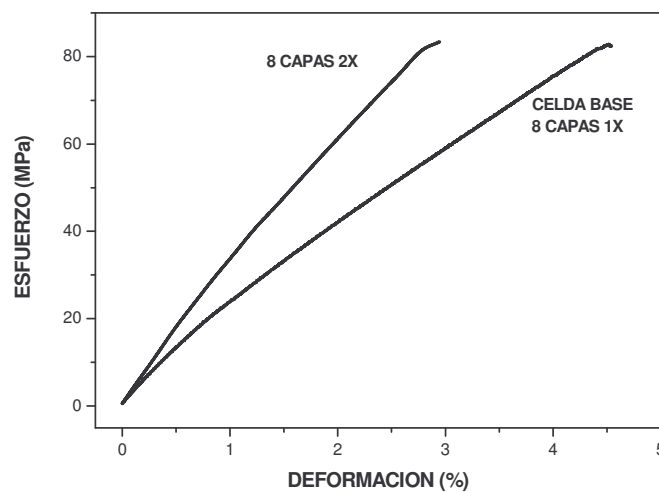


Figura 4. Curvas típicas esfuerzo-deformación de los materiales escalados en el plano.

La figura 5 muestra el comportamiento de las propiedades mecánicas de la celda base y el primer escalamiento en el plano. La deformación máxima es la única propiedad que se ve afectada cuantitativamente por este modo de escalamiento, mientras que el esfuerzo máximo y el módulo elástico son similares a la celda base.

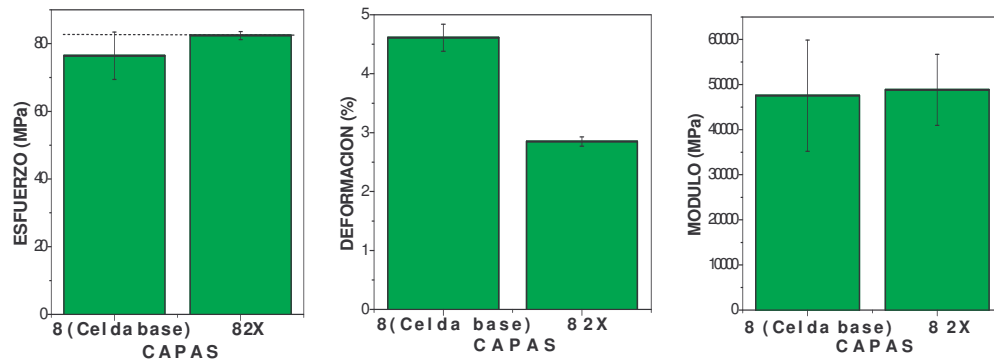


Figura 5. Comportamiento de las propiedades mecánicas de los materiales escalados en el plano.

Conclusiones.

Los resultados del escalamiento en el espesor no muestran ningún efecto en las propiedades de los materiales ya que tanto la forma de la curva esfuerzo-deformación, como los valores cuantitativos de sus propiedades mecánicas se conservan. El escalamiento en el plano mostró un efecto cualitativo en la forma de la curva esfuerzo-deformación y un efecto cuantitativo en el valor de la deformación máxima de los materiales. El segundo escalamiento en el plano (Tabla 1) permitirá confirmar los resultados obtenidos hasta ahora y un mejor entendimiento del comportamiento de estos materiales.

Agradecimientos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su financiamiento con el proyecto 47335-Y.

Referencias.

- [1] L. González, W. G. Knauss *International Journal of Fracture* **118** (2002) 363-394.
- [2] A. T. Nettles, M. J. Douglas. NASA Report NASA/TM-209103 (1999).
- [3] L. S. Sutherland, R.A. Shenoi. *Composites Science and Technology* **59** (1999) 209-220.
- [4] L. S. Sutherland, R.A. Shenoi. *Composites Science and Technology* **59** (1999) 221-233.
- [5] L. S. Sutherland, R.A. Shenoi. *Composites Science and Technology* **59** (1999) 235-251.
- [6] J. A. Lavoie, C. Soutis. *Composites Science and Technology* **60** (2000) 283-299.
- [7] M. Khatibzadeh, M. Piggot. *Composites Science and Technology* **58** (1998) 497-504.
- [8] W. A. Curtin. *Composites Science and Technology* **60** (2000) 543-551.
- [9] S. Ogihara, S. Kobayashi. *Composite Materials* **11** (2003) 239-254.
- [10] S. Kellas, J. Morton. NASA Report NASA CR-4423 (1992).